

# 民航灾害的复杂性特征探索

罗帆,任翔

(武汉理工大学管理学院,湖北武汉430070)

**摘要:**民航灾害作为一种高度复杂的社会现象,它具有非线性、多样性、突发性、随机性、整体性、多变性、统计性和规律性等复杂性特征。提出将民航灾害看作一个复杂系统,借助分形理论、混沌理论、人工神经网络等复杂性科学的工具,并结合预警管理方法,对民航灾害的复杂性进行探索,初步构造了民航灾害复杂性研究的理论框架。

**关键词:**民航灾害;复杂性;混沌;分形;人工神经网络;预警管理

**中图分类号:**X4\2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-7348(2005)09-0192-03

## 0 前言

民航灾害是指一切危及民航正常航空运营活动、运营秩序以及社会政治经济生活的事故或事件造成的灾难性后果,包括航空事故灾害,如飞行事故、地面事故和严重差错等造成的有形和无形损失;环境灾害,如飞机噪音和尾气污染、有毒和放射性物品泄露造成的生态环境污染与破坏、空中航行传播疫病等;自然灾害,如雷暴和冰雹等自然变故造成的损失;其他灾害,如威胁民航运营安全的非法行为的危害等<sup>[1]</sup>。为了保护人类的安全、维护社会和民航组织的财富,全世界的科研工作者在不懈地探索航空安全管理和技术。然而,把民航灾害看作一种高度复杂的社会现象,对民航灾害的成灾规律和形成机理的研究还有待于深化。

近年来,随着科学与技术的发展,人们对复杂系统与复杂性的研究已有了新的理解和认识。复杂科学理论与管理科学、灾害科学、安全科学等学科的结合,已经成为理论研究的热点和前沿,这对民航灾害的研究,提出了崭新的思路和方法。笔者提出将民航灾害看作一个复杂系统,借助复杂性科学的工具,对民航灾害的复杂性进行探索,

初步构造了民航灾害复杂性研究的理论框架,旨在提高人们对民航灾害的认识水平,减轻民航灾害的影响和危害。

## 1 民航灾害的复杂性特征

### 1.1 非线性和非平衡

非线性和非平衡是复杂性产生的主要根源。一个复杂系统通常都是由许多子系统组成,它们之间以某种或多种方式发生复杂的非线性和非平衡的相互作用。根据对1980~2000年国内102起民用航空飞行事故相关因素的分析,占第一位的是机组操纵不当,第二位分别是机务维护工作失误和航空公司组织管理缺陷,第三位分别是机组违反飞行程序、规章以及机组成员配合不好,第四位是天气,第五位分别是机组判断错误和机组不能正确使用设备。航空事故分析资料表明,民航灾害是人、机、环境和管理因素等相互间非线性作用的结果<sup>[2]</sup>。

### 1.2 多样性

复杂系统所显示的有序态、随机态和混沌态等行为能够依托系统内外不同的参数条件,随着时间和空间的变化而显示出千姿百态。民航灾害的发生是众多诱发因素之间非线性作用的结果,而由于这些诱发因素在

时间、地点和组合等方面存在着差异,使得产生民航灾害的条件、民航灾害发生的过程和产生的结果之间也有很大的差异。因此,民航灾害表现出多样性。

### 1.3 突发性和随机性

在自然界和人类社会,大多数系统显示的行为既不是完全有序的和可以预测的,也不是完全随机的和绝对不可预测的。民航灾害通常是突然发生的,是没有预见到的灾害。这种突发性与随机性表现为很难确切地预测灾害在什么时间和地点发生。民航灾害突发性的原因使民航灾害的发生是众多诱发因素之间非线性作用的结果,众多的诱发因素包含随机性。而导致民航灾害的发生有许多诱发因素,诱发因素之间的组合也有其随机性和突发性。如许多机械故障是突发的、随机的;民航事故的发生因人而异,在同样情况下不同熟练程度和不同水平的操作人可能产生完全不同的结果;从环境条件而言,同样的环境条件,在恶劣环境条件下事故并非一定发生,在良好的环境条件下事故也并非一定不会发生;从管理的角度而言,严格缜密的管理并不能保证事故绝对不发生,而在宽松懈怠的管理氛围下事故也并非一定会发生。诱发因素的这些特性必然影响

收稿日期:2005-01-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(704371034)

作者简介:罗帆(1963-),女,湖南益阳人,教授,博士,主要研究方向为预警管理系统、组织行为学和人力资源管理;任翔(1980-),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要研究方向为人力资源管理和预警管理系统。

到灾害的特性,从而使民航灾害的发生具有突发性和随机性的特点。

#### 1.4 整体性

对于一个复杂的非线性系统,系统的整体行为并非简单地与子系统的行为相联系,不能简单地采用还原论的方法,而必须从整体上去把握系统的发展趋势和特点,不能简单地从局部的个别行为的细节去判断,系统的整体行为决不是简单的所有局部行为的相加,一般情况是 $1+1 \neq 2$ 。民航事故的发生往往是多个因素或多个环节同时出现问题,形成相应的事故链而导致的。这些诱发因素在平时看来不过是思想上的懈怠、某个环节的省略或操作不熟练等等小问题,即使把它们叠加起来,从表面上来看也不会造成太大的问题。但是这些诱发因素一旦累计到一定程度,形成民航灾害,不仅给航空公司、机场等有关方面造成巨大的负面影响,在社会上对人们的思想、心理与行为产生广泛影响,引起社会民众对乘坐飞机产生不安甚至恐惧的心理。从这个角度来看,民航灾害的发生不是其局部行为的简单相加,其造成的后果往往是 $1+1 > 2$ 。

#### 1.5 多变性

复杂性的突出特性之一是它对初始条件、参数和环境的微小扰动具有高度的敏感性,系统在某些临界参数处由于“危机”而出现复杂状态。在民航界,安全无小事,从飞机本身的设计、机组对飞机的控制,机务对飞机的维修和空中管理中心对飞机的起降和飞行指挥等等环节,任何微小的人为差错和机械故障对飞机的安全有着重大的影响。当差错和故障积累程度达到某种临界状态的时候,就可能对系统产生变异而造成民航灾害。

#### 1.6 统计性和规律性

复杂系统是由大量的子系统组成的,因此它的基本动力学行为是大量子系统统计的平均行为,表征复杂性的各种因素都具有统计性,这样,研究复杂性就要应用统计理论方法来描述和处理。民航灾害的发生在微观上存在着可避免性。民航灾害有偶然性、突发性、不确定性及随机性,但是,从理论上讲,随机事件有随机的规律,可通过应用统计理论方法来揭示。根据我国民航1949~1999年运输事故的统计,飞行事故的次数呈上升趋势,而事故率是持续下降的。从民航

安全发展的中期趋势来看,50年来民航存在着3个事故高峰期;第一个高峰期是我国历史上的“大跃进”时期,第二个是“文化大革命”时期,第三个是改革开放和经济大发展的时期。民航安全的短期趋势存在着安全管理时紧时松,安全形势时好时坏的周期性波动。对我国民航事故进行的统计和分析表明,民航事故的发生具有一定的规律性<sup>[9]</sup>。对于人的失误、管理上的漏洞和机械的故障,可以通过充分发挥人的主动性和能动性来解决和减少。因此,民航灾害是可以预防的,至少能使民航灾害的发生及其损失降至现有技术、管理水平所能控制的最低限度。

## 2 民航灾害是一个复杂系统

民航灾害的发生是各种因素相互作用的结果,它是人与社会、与自然界关系失调的一种表现。民航灾害的最终承受体是人类和人类社会的集合体,可称之为承灾体;诱发民航灾害的因素主要包括人、机、环境和管理4大方面,这4大方面可称之为致灾因子。这两个方面是民航灾害发生具有的必要条件。致灾因子、承灾体和灾情3者之间相互作用的结果,就形成了所要研究的民航灾害。

从系统论的观点来看,致灾因子、承灾体、灾情之间的相互作用、相互影响、相互联系,形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系<sup>[10]</sup>,这就是民航灾害系统。图1描述了该系统内各子系统之间的复杂的关系。

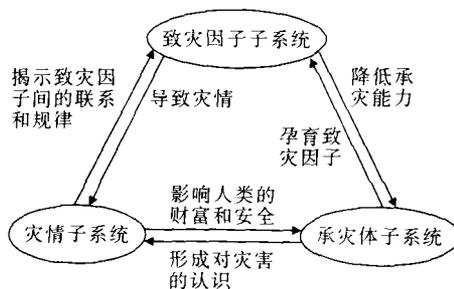


图1 民航灾害系统内各子系统之间的关系

民航灾害系统由于受人、机、环境、管理等多种因素的约束和影响,并且具有非线性、多样性、突发性、随机性、整体性、多变性、统计性和规律性等特征,因此,从系统科学的观点来看,民航灾害系统是一个典型的复杂系统。以下借助于分形、混沌、人工神经网络等非线性动力学方法,并结合预警管理方法,提出民航灾害的复杂性研究框架。

## 3 对民航灾害复杂性的研究框架

### 3.1 民航灾害的混沌特性研究

1971年物理学家Ruelle在其研究领域中发现了确定性系统中的内在随机性现象,这种内在随机性就是后来人们所称之为的混沌现象<sup>[9]</sup>。民航灾害系统具有非线性、不确定性与随机性等特性。民航灾害发生的时间、致错人和致灾诱因等方面存在很大的不确定性,民航灾害系统内各子系统之间的相互作用也会随着灾害的不同而具有随机性,而民航灾害在致灾机理和成灾规律上存在着一定确定性。这些随机性和确定性之间存在着某种内在的联系,这种联系就是混沌理论所要解释民航灾害复杂行为的作用机理。

### 3.2 民航灾害的分形特性研究

20世纪70年代初B.B.Mandelbrot通过研究发现,虽然许多现象错综复杂,但是它们之间往往存在一种自相似性,这种自相似现象存在于形体、功能、形态、信息等多方面,反映了广义全息现象的普遍存在。国家自然科学基金项目“民航灾害预警机理与方法研究”课题组,在对1980~2000年国内102起民用航空飞行事故的分析中也发现,虽然每次航空事故发生的条件和环境、具体事故的过程、具体的原因、事故发生产生的具体后果等方面存在很大的不同,但是这些民航事故在致灾诱因、成灾规律等方面存在着自相似性。将致灾诱因分为人、机、环境和管理4个方面,在对民航事故进行分析时,将具有自相似性的诱因分别归纳,然后研究其中哪些成灾规律具有自相似性,这些工作为民航灾害的预防和预控提供了理论依据,从而使预警管理系统具有自组织和免疫功能。

### 3.3 民航灾害的人工神经网络方法研究

人工神经网络是借鉴大脑和神经系统贮存、处理信息的某些特性而抽象出来的一种数学模型。其基本特征与传统方法的重要差别在于:第一,大规模并行处理,若硬件实施则速度极快,且便于信息的综合;第二,良好的容错性,这也正是传统方法中的“瓶颈”问题;第三,有学习功能,网络的大量参数均由学习(即训练)获得,而不是由人设定。这一点十分重要,是从原始数据中“提取”信息,逼近规律,而不是由人赋予规律。人工神经网络方法的这些特征,能对民航灾害早期征兆的识别、辨识、预测、预控、函数拟合等方

面的研究发挥重要的作用。例如,可采用基于人工神经网络的智能故障诊断方法,对飞机及设备故障严重程度进行评估和故障预测,探讨如何根据飞行员故障报告,对飞机及设备故障的严重程度进行快速评估,以便及时发出预警信息。另外,本课题组在运用人工神经网络方法的同时,还引入了专家系统方法。专家系统方法是将人类的知识和经验以知识库的形式存入计算机,模仿人类专家解决问题的思维过程,运用知识对问题做出判断和决策。专家系统方法具有较强的逻辑推理和符号处理能力,和人工神经网络的方法相结合,不仅可以充分发挥彼此的优势,而且还可以消除专家系统方法的容错和学习能力很弱的缺点。目前,课题组正在研究如何在航空公司机务维修部门综合运用这两种方法,构造一个具有一定人工智能的机务维修预警管理系统,从而在最大程度上消除飞机维修中的人为失误和人机失调对民航安全带来的潜在危险。

### 3.4 民航灾害定性与定量综合集成研究

本课题组在对民航灾害研究时,采用了预警管理方法,通过对民航安全状态的监测找出导致各类灾害征兆的主次作用因素和内外环境因素,使其表述为灾害征兆的主要特征量,来指明民航安全是处于危机状态、危机早期状态或正常状态,及时报警并采取预控对策。民航灾害的预警管理主要包括预警分析和预控对策两大部分。预警分析包括监测、识别、诊断与评价4个阶段。预控对策包括组织准备、日常监控和危机管理3个阶段。民航灾害预警管理的实质就是将专家群体(如管理学专家、灾害学专家、安全学专家、航空专家等等)、统计数据(对历年民航事故、事故征候的统计分析数据)和各种信息资料与计算机技术有机地结合起来,构建一个民航灾害预警管理信息系统,充分发挥预警管理信息系统的整体优势,用计算机来综合专家群体的定性认识,在大量数据、信息经过运用数学工具加工处理后,上升为定量

的认识,来揭示民航灾害的特点、成灾机理和规律以及发展变化趋势等。民航灾害的预警管理方法也就是定性与定量综合集成的研究方法。

#### 参考文献:

- [1] 罗帆,余廉,顾必冲.民航交通灾害预警管理系统框架探讨[J].北京航空航天大学学报(社会版),2001,14(4):33-36.
- [2] 方锦清.令人关注的复杂性科学和复杂性研究[J].自然杂志,2001,24(1):7-14.
- [3] 徐柏龄.前车之鉴——新中国民航飞行安全回顾与思考[M].北京:中国民航出版社,1999.78-80.
- [4] 魏一鸣.洪水灾害研究的复杂性理论[J].自然杂志,1999,21(3):139-142.
- [5] 魏一鸣.自然灾害复杂性研究[J].地理科学,1998,18(1):25-30.

(责任编辑:汪智勇)

## Research on Complexity of the Civil Aviation Calamity

**Abstract:** As a kind of highly-complex social phenomenon, the civil aviation calamity has the complex characteristics of nonlinear, diversity, sudden and randomness, integration, variability, statistic and regularity. On the basis of a civil aviation calamity, which is a complex system, its complexity is probed with the help of the complexity theory's tools (such as chaos, fractal, ANN and so on) and the method of early-warning management, and a primary theoretic frame of complexity research of the civil aviation calamity is constructed.

**Key words:** civil aviation calamity; complexity; chaos; fractal; ANN; early-warning management

## 科技进步与对策征订启事

《科技进步与对策》杂志是科学出版集团旗下的管理类学术期刊,是国家中文核心期刊、国家期刊方阵双百期刊、第二届中文期刊奖获奖期刊、国家优秀科技期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、中国期刊网与中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊。

《科技进步与对策》将向每位领导者、管理者、研究者、高校师生、企业家和科技人员奉献高质量的知识精品,成为专家和新秀共有的学术阵地。

您想跟上潮流,开拓视野,把握全局,优化决策,增长智慧,提高素质,使自己不断“增值”吗? 请向当地邮局订阅《科技进步与对策》!

本刊邮发代号 38-118,国内外公开发行,国际标准大 16K 本,月刊,每期 180 页,全铜版纸印刷,单价 12 元,全年定价 144 元。如错过邮局征订时间,可直接与本刊发行部联系订阅,全年定价 168 元(含挂号邮寄费),亦可通过本刊网站订阅。

地址:武汉市武昌洪山路 2 号湖北科教大厦 D 座 5 楼(邮编:430071)

联系人:潘宝琴

网址:www.kjbjchina.com

电话:(027)87277556 87277066

开户行:武汉市建行东湖支行

帐号:850283010000018658